

Jani Peltonen

Impregnointitehtaan parantaminen

energiatehokkuuden

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

24.4.2013

Tekijä Otsikko	Jani Peltonen Impregnointitehtaan energiatehokkuuden parantaminen
Sivumäärä Aika	43 sivua + 2 liitettä 24.4.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energia- ja ympäristötekniikka
Ohjaajat	Käyttöinsinööri Veli-Matti Knaapi Yliopettaja Markku Jantunen
<p>Tämän insinöörityön tavoitteena oli perehtyä Kotkamills Oy:n Kotkassa sijaitsevan impregnointitehtaan energiatehokkuuden parantamiseen. Yhä kasvavat polttoainekustannukset ovat pakottaneet varsinkin metsäteollisuuden miettimään energiankulutustaan. Energiatehokkuutta pyrittiin parantamaan pääasiassa vähentämällä tehtaan maakaasun ja sähkönkulutusta.</p> <p>Maakaasunkulutusta pyrittiin vähentämään kahdella eri tavalla. Ensimmäkin nostamalla tuotannossa ajonopeuden määrää, jolloin tehtäisiin enemmän tuotantoa tunnissa suhteessa vähemmällä maakaasunkulutuksella. Toisena keinona oli jälkipolttimelle puhallettavien poistokaasujen vähentämisen ja niiden kanavan alipaineen optimointi. Sähkön kustannuksia pyrittiin vähentämään korvaamalla nykyiset loisteputkivalaisimet ja halogeenilamput energiatehokkailla LED-valonheittimillä. Työssä esitetään myös rakenteellisia muutoksia, joilla energiatehokkuutta voisi parantaa.</p> <p>Työssä saadut tulokset ovat maakaasun käytön kannalta positiivisia. Maakaasun käyttö on saatu laskemaan, sillä poistokaasukanavan alipaineen säätely on jo otettu tehtaalla käyttöön. Maakaasunkulutuksen lasku on esitetty insinöörityössä prosentteina. Valaisimien vaihdolle on työssä laskettu sähkön säästö vuositasolla sekä investoinnin takaisinmaksuaika. Tehtaan aloitelistalla on myös muutama rakenteellinen muutos, jotka on esitetty tässä työssä.</p>	
Avainsanat	Energiatehokkuus, paperin impregnointi, terminen jälkipoltin, maakaasu

Author Title	Jani Peltonen Improving the Energy Efficiency of a Paper Impregnation Plant
Number of Pages Date	43 pages + 2 appendices 24 April 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Energy and Environmental Engineering
Instructors	Veli-Matti Knaapi, Production Engineer Markku Jantunen, Principal Lecturer
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to familiarize with improving the energy efficiency of a paper impregnation plant, which is owned by Kotkamills Ltd and is located in Kotka. The increasing fuel costs have forced especially the forest industry to pay attention to their energy consumption. The energy efficiency was mainly to be improved by reducing the usage of natural gas and electricity at the plant.</p> <p>The usage of natural gas was set to be reduced in two different ways. Firstly, by increasing the speed of the production line, which would increase the amount of production per hour with relatively less consumption of natural gas. Another method to reduce the natural gas usage was the optimization of the vacuum in the exhaust gas channel which blows exhaust gases to the afterburner. The objective to reduce the expenditures of electricity was by replacing the existing fluorescent lamps and halogen lamps with more energy efficient LED-headlamps. This thesis also presents structural changes that could improve the energy efficiency.</p> <p>The results of this thesis are positive considering the natural gas usage. The natural gas consumption has been reduced, because the regulation of the vacuum in the exhaust gas channel has been taken into use at the plant. The reduction in the natural gas usage is presented as a percentage in this thesis. This thesis includes annual electricity savings and return on investment calculated for the replacement of the lighting. Also a few of the structural changes which are presented in this thesis are already included in the start list of the plant.</p>	
Keywords	Energy efficiency, paper impregnation, thermal afterburner, natural gas

Sisällys

Termistö	1
1 Johdanto	2
2 Kotkamills Oy	2
2.1 Yrityksen esittely	2
2.2 Maakaasun käyttö Kotkamillsillä	4
3 Impregnointiprosessi	5
3.1 Impregnointiosa	5
3.2 Kuivatusosa	6
3.3 Kiinnirullausosa	7
3.4 Laadunvalvonta	8
3.4.1 Haihtuvat aineet	9
3.4.2 Hartsin määrä ja neliöpaino	9
3.4.3 Flow	10
3.4.4 Visuaalinen ilme	11
4 Terminen jälkipoltin	13
4.1 Termisen jälkipolttimen toimintakuvaus	13
4.2 Termoöljy	14
4.3 Ohjausjärjestelmä	16
5 Mittaukset ja tulokset	17
5.1 Ajonopeuden muutos	17
5.1.1 Tuotannon ajonopeuden nostaminen	17
5.1.2 Riskit ajonopeutta nostettaessa	22
5.2 Poistokaasumäärän muutos	23
5.2.1 Ensimmäinen alipaineen pudotus 0,6 kPa:iin	23
5.2.2 Toinen alipaineen pudotus 0,5 kPa:iin	25
5.2.3 Kolmas alipaineen pudotus 0,45 kPa:iin	26
5.2.4 Maaliskuun 2013 maakaasunkulutus	26
5.2.5 Tammi - maaliskuun maakaasunkulutus	28
5.2.6 Alipaineen laskun vaikutuksia	29

6	Parannusehdotuksia	30
6.1	Ajonopeuden muutos	30
6.1.1	Jäähdytysosan irrottaminen leijukuivaimesta	30
6.1.2	Lisäaineet	30
6.2	Poistokaasumäärän muutos	31
6.2.1	Poistokaasuventtiilien hälytys- ja pysäytysrajat	31
6.2.2	Termoöljykierron ohitusventtiili	31
6.2.3	Termoöljykierron pumppujen sijoittelu	32
6.2.4	Vaihtoehtoja lämmitysveden lämmittämiseen	32
6.2.5	Poistokaasuputkien liitos	33
6.2.6	Lämmönsiirtimen pesu	35
7	Valaisimien vaihto impregnointitehtaalle	36
7.1	Rahallisen säästön laskelma	38
7.2	Takaisinmaksuaikalaskelma	39
8	Yhteenveto	41
	Lähteet	42
	Liitteet	
	Liite 1. Terminen jälkipoltin	
	Liite 2. Tuubiputkia jälkipolttimen sisältä	

Termistö

Työssä esiintyy paperiteollisuuteen liittyviä termejä, joista selitetty on selitetty seuraavassa.

Aukirullain	Impregnointikoneen alkupäässä oleva rullainpukki, jossa raakapaperirulla pyörii.
Impregnaatti	Raakapaperin ja hartsin yhdistelmä eli valmis tuote.
Impregnointi	Raakapaperin jatkojalostus, jossa paperi kyllästetään hartsilla ja lisäaineilla ja sen jälkeen kuivataan leijukuivaimessa. Kuivunut tuote ajetaan tuoterullaksi tai arkitetaan.
Impregnointitehdas	Paperin jalostustehdas, jossa paperi impregnoidaan hartsin ja mahdollisten lisäaineiden kanssa.
Jälkipoltin	Maakaasulla toimiva terminen poltin, jolla poltetaan impregnointiprosessissa syntyneet haitalliset kaasut.
Kalvopaperi	Pinnoitus-, liima- ja maalauskalvoiksi käytettävät impregnaatit, joilla pinnoitetaan puulevyjä.
Karvi	Teippiliitos, jolla yhdistetään uusi raakapaperirulla vanhaan lennossa.
Kiinnirullain	Rullainpukki, johon valmis tuoterulla rullataan.
Leijukuivain	Impregnointikoneessa oleva pitkä kuivausyksikkö, jossa impregnaatti kuivataan.
Mittapalkki	Online-mittausjärjestelmä, joka mittaa impregnaatin laatuarvoja reaaliajassa.
Nippirako	Impregnointiosalla puristustelojen välissä oleva säädettävä rako.
Raakapaperi	Paperitehtaalla valmistettua Absorbex®-paperia, joka impregnoidaan impregnointitehtaalla.
Runkopaperi	Korkeapainelaminointeihin käytettävä impregnaatti

1 Johdanto

Teollisuudessa käytettävien polttoaineiden hintojen jatkuva nouseminen luo teollisuudelle yhä kasvavia kustannuksia. Silti tuotannon laadusta ei saa tinkiä, vaan pitää pystyä tuottamaan yhä laadukkaampaa tuotetta myös kilpailun kasvaessa. Tämä johtaa yrityksissä polttoainekustannusten optimointiin, jossa yhä pienemmällä polttoaineen kulutuksella pystytään tekemään enemmän tuotantoa, laadusta tinkimättä.

Tässä insinööriyössä perehdytään Kotkassa sijaitsevan paperin impregnointitehtaan energiankulutukseen ja erityisesti maakaasukulutukseen. Impregnointitehtaalla energiankulutukseen kuuluvat myös sähkö ja höyry. Tässä työssä keskitytään maakaasukulutuksen ja sähkönkulutuksen pienentämiseen. Maakaasukulutusta pyritään vähentämään kahdella tavalla: ensinnäkin nostamalla tuotantonopeutta ja tutkimalla sen vaikutusta, toiseksi muuttamalla tuotannon ajoarvoja ja tutkimalla näiden muutosten vaikutusta. Sähkönkulutusta pyritään vähentämään miettimällä uudestaan tehtaalla käytössä olevaa valaistusta. Työssä pohditaan myös mahdollisia rakenteellisia muutoksia, joilla energiatehokkuutta voisi parantaa. Tavoitteena on, että energiakustannukset jokaista tuotantotonnia kohti ovat mahdollisimman alhaiset.

Insinööriyötä tehtiin hyvin käytännönläheisesti juuri Kotkan impregnointitehtaalla. Työn tekijä teki tarvittavia mittauksia ja mietti kehitystapoja yhdessä työtä ohjaavan tehtaan käyttöinsinöörin kanssa.

2 Kotkamills Oy

2.1 Yrityksen esittely

Vuonna 1872 norjalainen Hans Gutzeit perusti Kotkan sahan samalle paikalle jossa Kotkan paperitehdas sijaitsee tällä hetkellä. Kotkamills Oy omistaa Kotkan

tehtaat, yhtiöön kuuluu myös paperitehdas Tainionkoskella ja impregnointitehdas Malesiassa. OpenGateCapitals-niminen amerikkalainen pääomasijoitusyhtiö omistaa Kotkamills Oy:n. Kotkan tehtaat sijaitsevat Kotkan keskustassa. Tehdasalueeseen kuuluu paperikoneet PK1 ja PK2, impregnointikoneet IK3 ja IK4 sekä saha. Kotkamillsin tehdasalueella on myös kombivoimalaitos sekä sellutehdas. Työntekijöitä Kotkamillsilla on 550, joista kotkassa 470. [1; 2.]

PK1 ja PK2 tuottavat Absorbex®-paperia eli imukykyistä erikoisvoimapaperia, jota käytetään enimmäkseen dekoratiivisten korkeapainelaminaattien valmistukseen. Niitä käytetään asuntojen ja julkisten tilojen sisustuksessa ja kuljetusvälineiden rakenteissa. Absorbex®-paperin raaka-aineina käytetään sahanpurua sekä kierrätyskuitumassaa. PK2 tuottaa erikoispäälyllytettyä aikakauslehtipaperia eli Solaris®-paperia, jota käytetään nelivärisissä aikakauslehdissä sekä myyntiluetteloissa. Solaris® valmistetaan kuumahierteestä ja sellusta. Solaris®-paperin tuotannosta menee vientiin noin 90 %. [1; 2.]

IK3 tuottaa Imprex®-kalvopaperia, jonka raaka-aine saadaan paperikoneesta PK2, ja Imprex®-runkopaperia, jonka raaka-aine saadaan paperikoneesta PK1. IK4 tuottaa pelkästään Imprex®-kalvopaperia Absorbex®-raakapaperista, jota saadaan paperikoneesta PK2. Raakapaperi kyllästetään fenolihiartsilla ja kuivatetaan, jolloin siitä tulee kalvopaperia tai runkopaperia. Imprex®-runkopaperia käytetään teollisuudessa dekoratiivisten korkeapainelaminaattien valmistukseen. Imprex®-kalvopaperia käytetään pinnoittamaan puulevyjä, työ- ja kävelytasoissa, liikennemerkkeissä ja kuljetusvälineiden katoissa ja seinissä. Imprex®-kalvovalikoimassa on myös Novox-kalvopaperi, jolla on normaaleja impregnoituja kalvoja parempi UV-kestävyys. Impregnointitehtaalla on mahdollisuus online- tai offline-arkitukseen, online-arkkileikkuri on yhdistetty IK3:seen. [1; 2.]

Sahalla tuotetaan kuusisahatavaraa, jota käytetään jalostuslaitosten raaka-aineena. Sahalla tuotetaan myös lautatavaraa, jonka käyttökohteina ovat

rakennusteollisuuden tuotteet sekä sisä- ja ulkoverhouspaneelit. Sahalla syntyvää sahanpurua käytetään PK1:llä, jossa siitä keitetään sellua, ja haketta käytetään PK2:lla Solaris®-paperin hierteen raaka-aineena. [1; 2.]

Kotkan tehtaot tuottavat vuodessa 220 000 tonnia laminaattipaperia, 176 000 tonnia erikoispäälystettyä aikakauslehtipaperia, 30 000 tonnia Imprex®-tuotteita ja 230 000 kuutiometriä puutuotteita. [1.]

2.2 Maakaasun käyttö Kotkamillsillä

Kotkan tehtaalla käytetään hyvin paljon maakaasua polttoaineena. Sitä käyttävät kombivoimalaitoksen kaasuturbiini, kombikattilan lisäpolttimet, meesauuni, paperikone 2, soodakattila ja impregnointitehtaan jälkipoltin. Koko Kotkan tehdasintegraatti käyttää vuosittain maakaasua noin 1300 GWh, joka kattaa yli 60 % tehdasalueen polttoainemäärästä. Kotkamills Oy on kaasuyhdistyksen jäsen, sillä se haluaa olla mukana seuraamassa kaasumarkkinoiden kehitystä ja vaikuttamassa kaasua käyttävän teollisuuden toimintaedellytyksiin myös tulevaisuudessa. [3, s. 20–21.]

Maakaasun käyttöä puoltavat alhaiset päästöt ja toimitusvarmuus, vaikkakin sen hinta Suomessa viime aikoina on noussut merkittävästi. Yksikköhinta on lähes kolminkertaistunut viimeisen kymmenen vuoden aikana. Hinnan nousu johtuu siitä, että maakaasun hinta on sidottu raakaöljyn hintaan sekä Suomessa yleisesti saatavilla olevan halvimman voimalaitospolttoaineen verottomaan hintaan. [4.]

Vuoden 2013 alussa maakaasuvero nousi, mikä lisää entisestään energiakustannuksia. Suurimmillaan maakaasun hinta on ollut vuoden 2012 syksyllä. Syksyn tasosta on tultu hieman alaspäin, mutta maakaasun hinta on edelleen korkea. [15.]

Hintakehityksen myötä energiakustannukset muodostavat yhä kasvavan kustannuserän myös metsäteollisuudessa, jolloin kaikki kustannusnousua

hidastavat toimenpiteet on löydettävä ja otettava käyttöön unohtamatta kuitenkaan toiminnan ympäristöystävällisyyden huomioimista. [3, s. 20–21.]

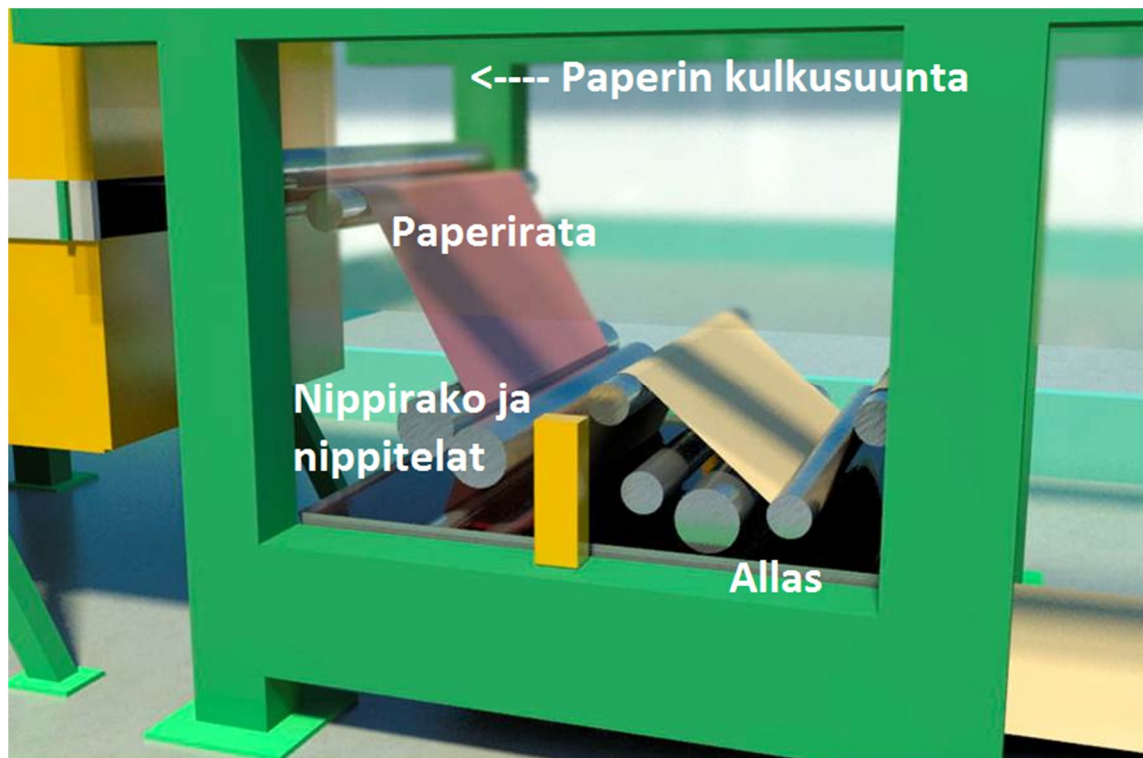
3 Impregnointiprosessi

Paperin impregnoinnilla tarkoitetaan raakapaperin kyllästämistä hartsilla ja lisäaineilla, kuten väriaineilla ja pehmentimillä.

3.1 Impregnointiosa

Raakapaperi on kiinni aukirullaimessa, josta sitä syötetään pyöriviä teloja pitkin hartsialtaalle. Hartsia imeytetään paperiin hartsialtaassa, jonka jälkeen paperirata ajetaan nippitelojen välistä eli nippiraosta leijukuivaimeen. Nippitelat ovat paperia puristavat telat, ja niiden tarkoitus on annostella oikea hartsimäärä paperiin ennen kuivainta.

Kuvassa 1 on esitetty hartsiallas, siinä näkyvät myös nippitelat ja nippirako sekä paperirata ja sen kulkusuunta. Raakapaperirullan loppuessa uuden rullan vaihto tehdään ns. lentävänä vaihtona karvin avulla. Karvi tarkoittaa teippiliitosta, jossa uusi raakapaperirulla liitetään vanhaan lennossa eikä tuotanto keskeydy. Uusi rulla kiihdytetään ratanopeuteen ja saumataan vanhaan rataan kiinni niin, että karviteipit tarttuvat rataan kiinni. Tämän jälkeen vanha rata katkaistaan.



Kuva 1. Impregnointiossa [18, s. 7]

3.2 Kuivatusosa

Impregnaatti kuivataan leijukuivaimessa, jossa paperirataa kannatellaan ilmasuuttimilla. Leijukuivaimessa on useita lohkoja, ja niiden lämpötilaa sekä kiertoilman määrää voidaan säätää. Kuvassa 2 näkyy yksi leijukuivaimen lohkoista ja sen sisällä näkyvät paperirata ja ilmasuuttimet. Eri hartseille on eri ajo-olosuhteet ja ne on kaikille määritelty, joitakin täytyy esimerkiksi ajaa hitaammalla ajonopeudella ja toiset taas tarvitsevat suuremman lämpötilan. Tarvittava lämpö ilmaan saadaan lämmönvaihtimista, joissa kiertää termoöljy, jota lämmitetään savukaasulämmönsiirtimellä jälkipolttimessa. [5, s. 3.]

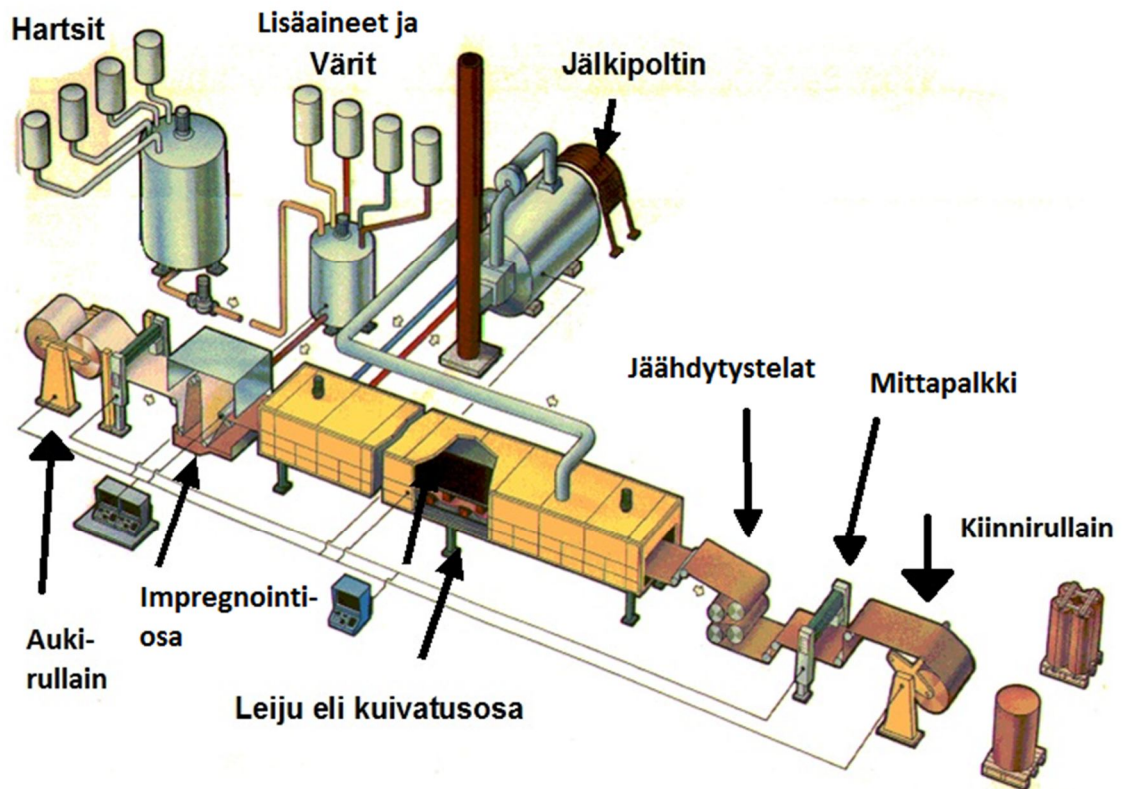


Kuva 2. Kuva leijukuivaimen sisältä, jossa näkyy paperirata ja sitä ylä- ja alapuolelta kuivaavat ilmasuuttimet [18, s. 8]

3.3 Kiinnirullausosa

Leijukuivaimen jälkeen paperirata tulee jäähdytysosaan, jossa se jäähdytetään huoneenlämpöön. Tämä pysäyttää hartsireaktion paperissa. Jäähdytysosan jälkeen valmis impregnaatti rullataan kiinnirullaimella tyhjään hylsyyn, minkä jälkeen se pakataan lähetyskuntoon tai jatkokäsittelyyn kuten arkitukseen. [5, s. 3.]

Kuvassa 3 on kuvattu koko impregnointiprosessi aukirullauspäästä kiinnirullaimelle. Kuvassa näkyy myös hartsisäiliö, lisäainesäiliöt ja jälkipoltin.



Kuva 3. Kuva impregnointiprosessista [19, s. 36]

3.4 Laadunvalvonta

Laatua impregnaatissa tarkkaillaan usein eri tavoin, sillä se määrittää voidaanko tuote ylipäättään lähettää asiakkaalle. Laadussa pysymiseen ja sen valvontaan panostetaan paljon. Impregnointitehtaalla on oma laboratorio, jossa impregnaateille tehdään jatkotestejä ja laadun tutkimista.

Ajettavan paperin laatu ilmoitetaan ajomääräimessä, esimerkiksi 42/117 FA2X CHB, jossa

- 42 on raakapaperin neliömetripaino,
- 117 on valmiin tuotteen neliömetripaino,
- FA2X on hartsin laatua ilmaiseva koodi
- CHB on valmiin tuotteen väri, tässä tapauksessa chesternut brown eli kastanjanruskea.

Jokaiselle laadulle on lasketut haihtuva-, hartsimäärä-, neliömetripaino- ja flow-arvot, joihin impregnoitaessa tulee tähdätä.

Impregnointikoneessa on asennettuna mittapalkki, joka toimii mittaus- ja laadunsäätövälineenä. Mittapalkin lisäksi koneenhoitajat suorittavat myös käsin tehtyjä mittauksia. Jokaisesta tuotelavasta otetaan vähintään yksi käsintehty mittausta, yhdessä tuotelavassa on yleensä neljä tuoterullaa tai yksi kokonainen arkkilava. [6, s. 2.]

3.4.1 Haihtuvat aineet

Haihtuvien aineiden %:lla tarkoitetaan, kuinka paljon valmiista impregnaatista haihtuu pääosin kosteutta, kun sitä lämmitetään uunissa. Haihtuvien aineiden määrittäminen tapahtuu siten, että valmiista tuotteesta leikataan kaksi 200 x 250 mm suuruista näytepalaa, jotka punnitaan tarkalla vaa'alla. Tämän jälkeen näytepalat laitetaan uuniin, jossa niitä lämmitetään 160 °C:ssa 5 minuuttia. Lämmityksen jälkeen näytepalat punnitaan uudestaan. Saatuja massoja käyttämällä lasketaan impregnaatin haihtuva-arvo kaavalla [6, s. 9.]

$$\frac{a - b}{a} * 100$$

,jossa

a = massa ennen lämmitystä

b = massa lämmityksen jälkeen

Haihtuva-arvo ilmoitetaan aina prosentteina, ja sen arvo on tyypillisesti välillä 5 - 7 %. Arvon täytyy pysyä ennalta määritellyissä rajoissa, jotta tuote voidaan hyväksyä myyntikelpoiseksi. Haihtuva-arvo mitataan kalvopaperille ja runkopaperille. [6, s. 9.]

3.4.2 Hartsin määrä ja neliöpaino

Kaikista tuotteista mitataan myös niiden neliömetripaino ja hartsimäärä. Hartsimäärä mitataan samalla tavalla kuin haihtuvat, ja se lasketaan kaavoilla:

$$\text{Harts} - \% = \frac{A - B}{A} * 100$$

,jossa

$A = 10 * \text{näytteiden paino}$

ja

$$B = \frac{C * (100 - D)}{100}$$

,jossa

$C = \text{raakapaperin kuivapaino}$

$D = \text{kosteusprosentti}$

Hartsimäärä ilmoitetaan 0,1 %:n tarkkuudella. [6, s. 10.]

Neliömetripaino saadaan yksinkertaisesti vain punnitsemalla näytekappale vaa'alla.

3.4.3 Flow

Flow-arvo mitataan runkopaperille sekä kalvopaperille. Flow-arvo mittaa impregnaatin kasaan painumista, kun sitä puristetaan. Mittauksen on tarkoitus jäljitellä valmiin tuotteen puristustapahtumaa esimerkiksi vanerin pinnoitteeksi. Flow-arvon määrittäminen tapahtuu siten, että valmiista tuotteesta leikataan halkaisijaltaan 38 mm näytenappi. Nappia sitten laitetaan kuultopaperin väliin ja se asetetaan flow-testeriin puristuksiin. Testerin lämpötila on 150 °C, ja sen paine on 18 - 100 kp/cm². Puristusaika vaihtelee välillä 1 - 4½ minuuttia impregnaatista riippuen. Puristuksen jälkeen näytenapin halkaisija mitataan. Näytenappi ei saa painua liikaa kasaan eli halkaisijan pitää pysyä tietyissä rajoissa, jotta tuote voidaan hyväksyä. Puristettaessa näytenapin ympärille muodostuu pursetta, koska näytenapin pinta-ala hieman kasvaa puristettaessa. Purset täytyy myös huomioida mittauksissa. [6, s. 8.]

Flow-arvo ilmoitetaan prosentteina ja lasketaan kaavalla:

$$Flow \% = \frac{(a - b - c) * 100}{a - b}$$

,jossa

a = silikonipaperin ja näytenapin massa

b = silikonipaperin massa

c = näytenapin massa, kun siitä on kaikki purse irrotettu [6, s. 8.]

3.4.4 Visuaalinen ilme

Paperin laatua tarkkaillaan myös silmämääräisesti. Valmiista tuotteesta nähdään heti pisarakoko ja imeytyvyys. Joskus hartsin sekoitussuhteet voivat olla väärin ja hartsi jää isoiksi pisaroiksi raakapaperin pintaan eikä imeydy kunnolla. Tämä johtuu usein siitä, että hartsin viskositeetti on liian korkea. Sitä voidaan laimentaa vedellä tai metanolilla ja edesauttaa imeytymistä. [7.]

Hartsi voi myös imeytyä liian hyvin paperiin, jolloin hartsia ei enää riitä paperin pinnalle vaan suurin osa siitä on paperin keskikerroksissa. Tällöin raakapaperi tulee näkyviin hartsin alta. [7.]

Kuvan 4 paperin repäisykokeessa huomataan, että paperin keskikerrokset eivät ole imeneet hartsia lähes ollenkaan. Vaaleat raakapaperikuidut näkyvät todella selvästi. [7.]



Kuva 4. Huonosti paperin keskikerrokseen imeytynyt hartsi

4 Terminen jälkipoltin

4.1 Termisen jälkipolttimen toimintakuvaus

Termisen jälkipolttimen tarkoitus on polttaa impregnointikoneiden kuivausosista tulevan ilman epäpuhtaudet pois ennen kuin savukaasut johdetaan savupiippuun. Paperia kuivataan ilmavirralla leijukuivaimessa, jolloin kuivausilmaan tarttuu myrkyllisiä kaasuja kuten metanolia ja formaldehydiä. Molemmissa koneissa käytettävästä kuivausilmasta imetään noin puolet pois putkia pitkin jälkipolttimelle, korvausilma on tehdashallin ilmaa. Jälkipolttimen polttoaineena on maakaasu ja sen polttokammion lämpötila tulee pitää 740 °C:ssa, jotta epäpuhtaudet palavat pois eikä ilmakehään pääse liiallisia pitoisuuksia myrkyllisiä päästöjä. Automatiikka seuraa polttimen lämpötilaa ja avaa tai sulkee maakaasuventtiiliä sitä mukaa, kuinka polttokammion lämpötila muuttuu. Näin polttokammiossa säilyy haluttu lämpötila. Kuva polttokammioista on liitteessä 1. [8.]

Ennen kuin poistokaasu tulee polttokammioon palamaan, sitä esilämmitetään johtamalla se jälkipolttimen ulkovaipassa olevia tuubiputkia pitkin. Näin ilma lämpenee eikä se jäähtyä polttokammiota niin paljon saapuessaan siihen. Kuva tuubiputkista on liitteessä 2. Mitä pienempi on poistokaasun ja polttokammion lämpötilaero, sitä enemmän maakaasua säästyy, sillä lämpötila on pidettävä 740 °C:ssa koko ajan. Jos poistokaasu jäähtyy polttokammiota paljon, on maakaasun määrää nostettava, mikä taas tuo lisäkustannuksia. Polttokammion jälkeen savukaasut johdetaan kolmeen lämmönvaihtimeen. Ensimmäisessä lämmönvaihtimessa kiertää termoöljy. Termoöljy kiertää impregnointikoneiden ja savukaasulämmönvaihtimen välillä ja sen avulla lämmitetään impregnointikoneissa olevaa paperiradan kuivausilmaa. [8.]

Termoöljylämmönvaihtimen jälkeen savukaasu menee kahden vesilämmönvaihtimen läpi. Vettä lämmitetään lämmönvaihtimessa ja sitä käytetään lämmityspattereissa, joilla lämmitetään tehdasta. Savukaasut voidaan haluttaessa johtaa myös kaikkien tai jonkin lämmönvaihtimen ohi kokonaan ja

suoraan savupiippuun. Tätä käytetään esimerkiksi kuumina kesäpäivinä, kun tehdasta eikä välttämättä termooöljyäkään tarvitse lämmittää. Sosiaalivettä, jota käytetään hanoissa ja suihkuissa, lämmitetään vielä erikseen lämmitysveden avulla. Tehtaan lämmitysvedestä otetaan lämpöä sosiaaliveteen lämmönvaihtimella. Joskus kylminä talvipäivinä savukaasuista saatava lämpö ei riitä lämmitysveden ja sosiaaliveden lämmitykseen. Tällöin joudutaan ostamaan tehdasalueella olevalta kombivoimalaitokselta höyryä, jolla lämmitetään vettä höyry-vesi-lämmönvaihtimilla. Tehtaalla on kaksi höyry-vesi-lämmönvaihdinta. Höyry on tosin kallista ja sen ostamista tulisi välttää. [8.]

Kummastakin leijukuivaimesta tulevat poistoilmat yhdistetään yhdeksi suureksi poistoilmakanavaksi, jossa puhallin puhaltaa poistoilmaa jälkipolttimelle. Puhaltimen pyörimisnopeuden avulla säädetään kanavassa olevaa alipainetta. Alipaineen avulla poistoilma liikkuu kanavassa. Pääpoistokanavan alin alipaineraja on 0,2 kPa, normaalisti alipaine on 0,5 - 0,7 kPa. Alipaine täytyy pitää tarpeeksi korkealla tasolla, sillä muuten myrkylliset poistokaasut voisivat päästä pois leijukuivaimesta tehdashallin ilmaan. Toisaalta leijukuivaimesta täytyy myös poistaa aina noin puolet kuivausilmasta, sillä muuten on vaarana metanolipitoisuuden liiallinen nousu leijukuivaimessa ja mahdollisesti räjähtäminen. Räjähtävien aineiden pitoisuutta leijukuivaimessa mittaa LEL-arvo (Lower Explosive Limit), joka ei saa olla yli 20 %, arvossa on lisäksi varmuuskerroin 10 varmuuden vuoksi. [8.]

4.2 Termooöljy

Kotkan impregnointitehtaalla käytetään lämmönsiirtoöljynä kanadalaista Petro-Canada Calflo AF -öljyä. Tämä öljy on suunniteltu käytettäväksi järjestelmissä, jotka toimivat jatkuvasti lämpötilassa +316 °C. Öljyn lämpötila impregnointitehtaalla harvoin nousee edes +290 °C:n yläpuolelle, joten öljyn lämpötilassa on vielä varaa nostaa. Korkeampi öljyn lämpötila tarkoittaisi myös enemmän lämpötehoa leijukuivaimiin, mikä mahdollistaisi suuremmat ajonopeudet. [9, s. 1.]

Taulukosta 1. huomataan, että ominaislämpökapasiteetti on parhaimmillaan öljyn maksimilämpötilassa.

Taulukko 1. Tehtaan käyttämän termooiljyn ominaisuuksia eri lämpötiloissa

Ominaisuudet	Lämpötila			
	15°C	38°C	260°C	316°C
Tiheys, g/ml	0,867	0,852	0,715	0,681
Lämmönjohtavuus, W/mK	0,142	0,141	0,130	0,127
Ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg°C	1,89	1,96	2,69	2,88
Höyrynpaine, kPa	-	-	3,78	15,32

Ongelmaksi muodostuu termooiljyn lämpötilalle ohjausjärjestelmään asetetut hälytys- ja pysäytysrajat.

- Hälytysraja 290 °C
- Pysäytysraja 300 °C

Hälytysrajan ylittyessä ohjausjärjestelmään ilmestyy hälytyssignaali, joka neuvoo pudottamaan lämpötilaa. Pysäytysrajan ylittyessä jälkipolttimen liekki sammuu turvatoimenpiteenä. Kesken tuotannon tämä on tietenkin hyvin epätoivottavaa, sillä jälkipoltin täytyy käynnistää uudelleen. Rajoja voisikin nostaa, niin että saataisiin käyttöön termooiljyn optimilämpötila. [10, s. 13.]

Toiset kyseenalaiset hälytys- ja pysäytysrajat termooiljylle on asetettu sen tilavuusvirtaan.

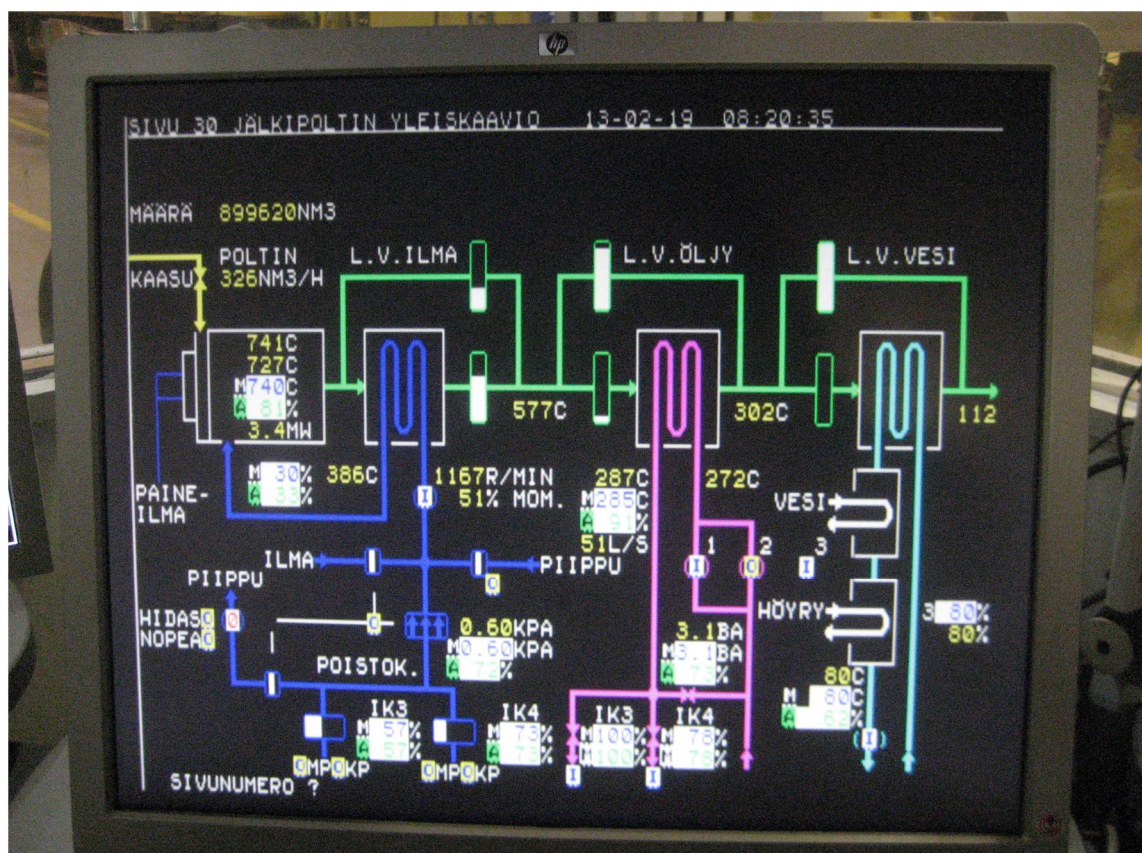
- Hälytysraja 47 l/s
- Pysäytysraja 45 l/s

Tilavuusvirta on asetettu korkeaksi sen takia, ettei öljy kuumenisi liikaa savukaasulämmönvaihtimessa ja sen rakenne alkaisi hajoilla, jolloin se palaa kiinni putkiston seinämiin ja karstoittaa putken. Rajoilla myös suojellaan öljyn viskositeettiä, ettei se nouse liian korkeaksi ja öljystä tule liian jäykkää. Ajan myötä öljyn rakenne alkaa hiljalleen hajoilla, ja sen takia tehtaalla on öljylle paisuntasäiliö, jossa siitä voidaan huohotusputken avulla poistaa lyhyet jakeet

ja mahdollinen kondensoitunut vesi. Tällä tavoin öljyn viskositeetti palaa entiselleen. Tilavuusvirta on kuitenkin todella korkea ja sitä voisi pudottaa, jotta savukaasulämmönvaihdin saisi siirrettyä mahdollisimman paljon lämpöenergiaa öljyyn ja siitä saataisiin paras hyöty irti. [10, s. 13.]

4.3 Ohjausjärjestelmä

Jälkipolttimen toimintaa ohjataan SELMA-ohjausjärjestelmällä, joka on käytössä impregnointitehtaalla. Asetuksia voidaan käyttää automaattisena tai käsiajolla. Ohjausjärjestelmä pysyy ajan tasalla, ja sen avulla on helppo tarkkailla jälkipolttimen toimintaa ja tarvittaessa muuttaa sitä. Kuvassa 5 on jälkipolttimen yleiskaavio -sivu, josta nähdään pääasiassa poistoilman kierto, termooiljyn kierto ja lämmitysveden kierto. Ohitusventtiilien ja muiden venttiilien asennot on ilmoitettu prosentteina. Kaaviossa näkyy maakaasun käyttömäärä normikuutioina tunnissa.



Kuva 5. SELMA-ohjausjärjestelmän jälkipolttimen yleiskaavio

5 Mittaukset ja tulokset

5.1 Ajonopeuden muutos

5.1.1 Tuotannon ajonopeuden nostaminen

Yksi idea, jolla voisi nostaa tuotannon määrää pienemmillä energiankulutuksilla, oli impregnointikoneiden ajonopeuden nostaminen. Korkeampi ajonopeus tarkoittaa luonnollisesti enemmän tuotantoa, mutta kysymys kuului, miten jälkipolttimen maakaasun tarpeen kävisi. Tehtaalla tehtiin testiajo, jossa impregnointikone 4:n ajonopeutta muutettiin 95 m/min → 100 m/min. Testiajoa tehtiin perjantaista 15.2.2013 klo 11.30 aina sunnuntaiaamuun 17.2. klo 5.00 asti, ajossa oleva laatu oli 42/117 FA2X CHB.

Tuotantoa mitataan sillä, kuinka monta tonnia tuotetta tulee tunnissa. Nyt valmiin tuotteen määrä kasvoi:

$$Nousu - \% = \frac{100 \text{ m/min} - 95 \text{ m/min}}{95 \text{ m/min}} * 100 = 5,263 \%$$

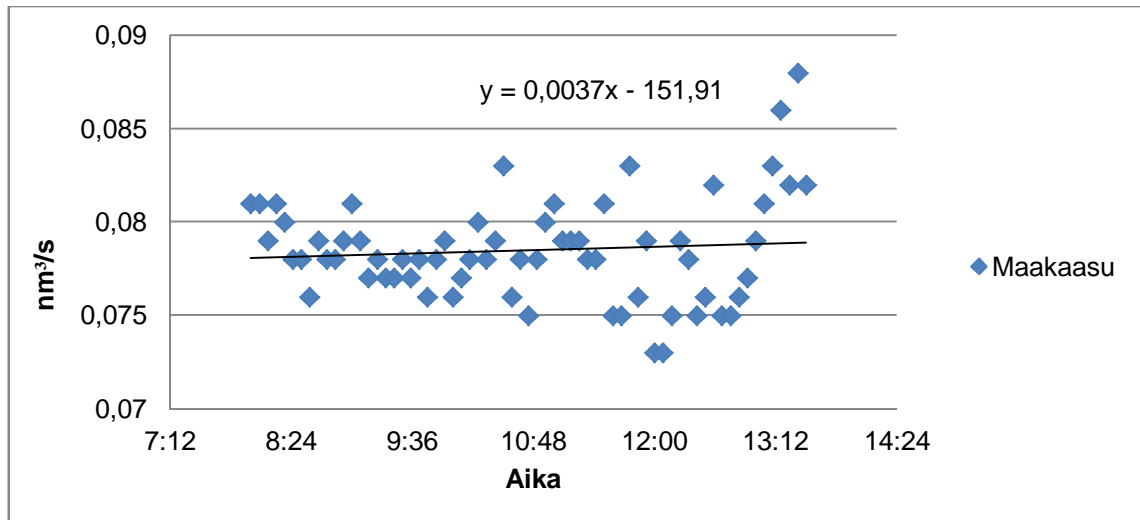
Ajonopeuden nostossa on kuitenkin riskejä, jotka johtavat yleensä paperiradan katkeamiseen eli ratakatkoon. Ratakatkoja tulisikin välttää, sillä niiden aikana impregnointikoneet seisovat eikä tuotantoa ole.

Tiedot maakaasunkulutuksesta saatiin tehdasalueen kombivoimalaitoksen valvomosta. Taulukossa 2 on esitetty pieni esimerkki kulutuksen tiedoista, sellaisina kuin ne saatiin.

Taulukko 2. Pieni katkelma tuloksista, maakaasunkulutus ja kellonaika

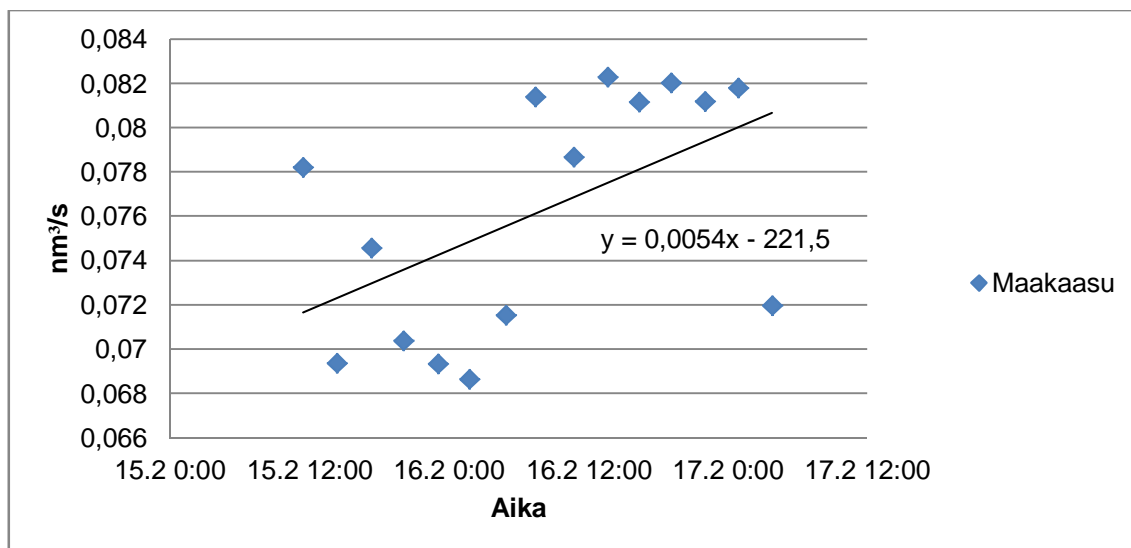
Päivämäärä	nm ³ /s
15.2.2013 11:30:00	0,081
15.2.2013 11:35:00	0,075
15.2.2013 11:40:00	0,075
15.2.2013 11:45:00	0,083
15.2.2013 11:50:00	0,076
15.2.2013 11:55:00	0,079
15.2.2013 12:00:00	0,073
15.2.2013 12:05:00	0,073
15.2.2013 12:10:00	0,075
15.2.2013 12:15:00	0,079
15.2.2013 12:20:00	0,078

Asettamalla kombivoimalaitokselta saadut tiedot maakaasun kulutuksesta Excel-kuvaajaan pystyttiin tutkimaan maakaasunkulutuksen kehitystä. Kuvasta 6 huomataan että lyhyellä aikavälillä (15.2.2013 klo 8.00 - 13.30), jolloin molemmat impregnointikoneet olivat päällä ja ratakatkoja ei ollut, maakaasun kulutus nousi lievästi. Maakaasunkulutus heilahteli enimmäkseen 0,075 - 0,085 nm³/s välillä eli erot eivät olleet kovinkaan suuret, mutta trendi on nouseva, sillä pisteille piirretyn suoran kulmakerroin on positiivinen. Loppua kohden maakaasunkulutus nousee lievästi, mikä selittyy maakaasun syöttöä valvovan automatiikan tekemillä liian suurilla muutoksilla. Ratkaisu tähän voisi olla ennakoiva PID-säädin.



Kuva 6. Maakaasun kulutuksen muutos lyhyellä aikavälillä

Kuvasta 7 nähdään, että pitemmällä aikavälillä mitattuna (15.2.2013 klo 10.30 - 17.2.2013 klo 5.05) maakaasunkulutuksen kasvu oli suurempi. Maakaasunkulutus heilahteli hieman suuremmalla vaihteluvälillä 0,068 - 0,083 nm^3/s ja myös suoran kulmakerroin on suurempi. Tämä selittyy sillä, että tutkittavaan aikaväliin osuu ratakatkoja, jolloin maakaasun tarve jälkipolttimessa muuttuu. Silloin kun esimerkiksi toisella koneella on ratakatko tai laadunvaihto, tarvitaan maakaasua vähemmän. Ensimmäinen ja viimeinen piste ovat hieman irrallaan muista. Ensimmäinen piste selittyy tapahtuneesta ratakatkosta ja sitä seuranneesta lämmityksestä. Viimeinen matala kulutuspiste selittyy sunnuntaiseisakilla, jolloin tuotantoa ole.



Kuva 7. Maakaasun kulutuksen muutos pitkällä aikavälillä

Myös ajossa olevan hartsin laatu vaikuttaa maakaasun tarpeeseen. Jos ajetaan hyvin metanolipitoisia laatuja, maakaasua ei tarvita niin paljon, sillä metanoli on hyvin tulenarka aine. Jälkipolttimeen menevät kaasut voivat siis palaa lähes itseksensä, jolloin maakaasua säästyy. [11.]

Maakaasun käytön keskiarvo ennen ajonopeuden nostoa on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Maakaasun käytön keskiarvo ennen ajonopeuden nostoa.

Keskiarvo 14.2. - 15.2.
nm^3/s
0,065019

Ajonopeuden muutoksen jälkeen olevan maakaasunkulutuksen keskiarvo on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Maakaasun käytön keskiarvo ajonopeuden noston jälkeen.

Keskiarvo 15.2. - 17.2.
nm^3/s
0,076116

Maakaasunkulutuksen prosentuaalinen nousu saadaan laskettua taulukoiden 3 ja 4 tiedoista:

$$Nousu - \% = \frac{0,076116 \frac{nm^3}{s} - \frac{0,065019nm^3}{s}}{\frac{0,065019nm^3}{s}} * 100 = 17,067 \%$$

Maakaasunkulutus siis nousee yli kolminkertaiseksi verrattuna tuotannon nousuun.

Myöhemmin huomattiin, että aikajaksolla 16.2.2013 - 17.2.2013 impregnointikone 3:lla ajettiin runkoajoa, joka tarvitsee paljon enemmän kuivatusilmaa ja täten myös lämpöä. Maakaasunkulutus on runkoajossa siis paljon suurempaa. Taulukossa 5 on esitetty maakaasun kulutuksen keskiarvo ainoastaan kalvoajolla. Jos maakaasun kulutuksen määrän nousun laskee ainoastaan 15.2.2013 - 16.2.2013 väliselle ajalle, kun molemmilla koneilla oli kalvoajo, saadaan seuraavia tuloksia:

Taulukko 5. Maakaasun kulutuksen keskiarvo ainoastaan kalvoajolle.

Keskiarvo kalvoajolle 15.2–16.2
nm ³ /s
0,072447

Maakaasun kulutuksen prosentuaalinen nousu:

$$Nousu - \% = \frac{0,072447 \frac{nm^3}{s} - 0,065019 \frac{nm^3}{s}}{0,065019 \frac{nm^3}{s}} * 100 = 11,4248 \%$$

Maakaasunkulutuksen nousu on pienempi kuin ensimmäisessä mittauksessa. Tästä voidaan päätellä maakaasun kulutuksen riippuvan vahvasti siitä, onko impregnointikone 3:lla menossa kalvoajo vai runkoajo. Siltikin maakaasua näyttää kuluvan prosentuaalisesti enemmän, kuin nousu tuotannon määrässä oli. Nostamalla nopeutta 5 m/min ei siis ole maakaasunkulutuksen vähenemisen kannalta järkevää, sillä suhteessa sitä kuluu enemmän kuin tuotantoa saadaan. Ajonopeutta siis tulisi nostaa enemmän.

5.1.2 Riskit ajonopeutta nostettaessa

Ajonopeuden nostaminen paperin impregnoinnissa saattaa aiheuttaa ongelmia ja se nostaa ratakatkon mahdollisuutta. Tietoja riskeistä saatiin haastattelemalla tehtaan työntekijöitä ja niitä ovat ainakin seuraavat.

Nippirako pienenee automaattisesti ajonopeuden noustessa, jotta liika hartsi saadaan puristettua pois ennen leijukuivainta. Tapahtuman aiheuttaa hartsissa kasvava hydrostaattinen paine, joka työntää hartsia syvemmälle paperin sisäkerroksiin. Automatiikka huomaa tämän ja alkaa kiristää nippirakoa entisestään. Paperirata saattaa kuitenkin joutua liialliseen puristukseen, mikä voi johtaa paperin repeämiseen ja sitä kautta ratakatkoon. Nippitelan ollessa tiukalla pienenkin roskan joutuminen paperin mukana telan väliin johtaa paperin repeämiseen. [12, 13.]

Ajonopeuden noustessa paperi alkaa kiristyä ja sen reunat saattavat alkaa lepattaa leijukuivaimessa. Paperin lepatus kasaa hartsijäämiä leijukuivaimen reunoille, ja niiden kasvaessa paperi saattaa repeytyä osuessaan niihin. Lepatusta voidaan ehkäistä pienentämällä paperiradan kireyttä ohjausjärjestelmästä. [12, 13.]

Jäähdytysosan jälkeen olevat ohjaustelat, jotka ohjaavat paperin jäähdytysteloille, saattavat likaantua, sillä jäähdytysosa ei ehdi jäähdyttää nopeasti liikkuvaa paperirataa tarpeeksi. Ohjausteloihin siis jää hartsijäämiä paperista. Tämän takia jäähdytysosaan täytyy laittaa lisäpuhallusta, jotta jäähdytystä saadaan lisää. [12, 13.]

Leveällä paperiradalla runkoa ajettaessa ei välttämättä koskaan saada tarpeeksi suurta lämpötilaa leijukuivaimeen. Lämpötilan liian suuri nostaminen alkaa myös sulattaa jäähdytysosassa olevaa hartsipölyä, jolloin on vaarana, että se alkaa tippua paperiradan päälle ja täten aiheuttaa ratakatkon. [12, 13.]

Ajonopeuden ollessa suuri karvin kanssa voi tulla ongelmia, sillä liitokseen saattaa jäädä pitkiä häntiä koska leikkuri ei katkaise raakapaperia oikeasta kohdasta. [12, 13.]

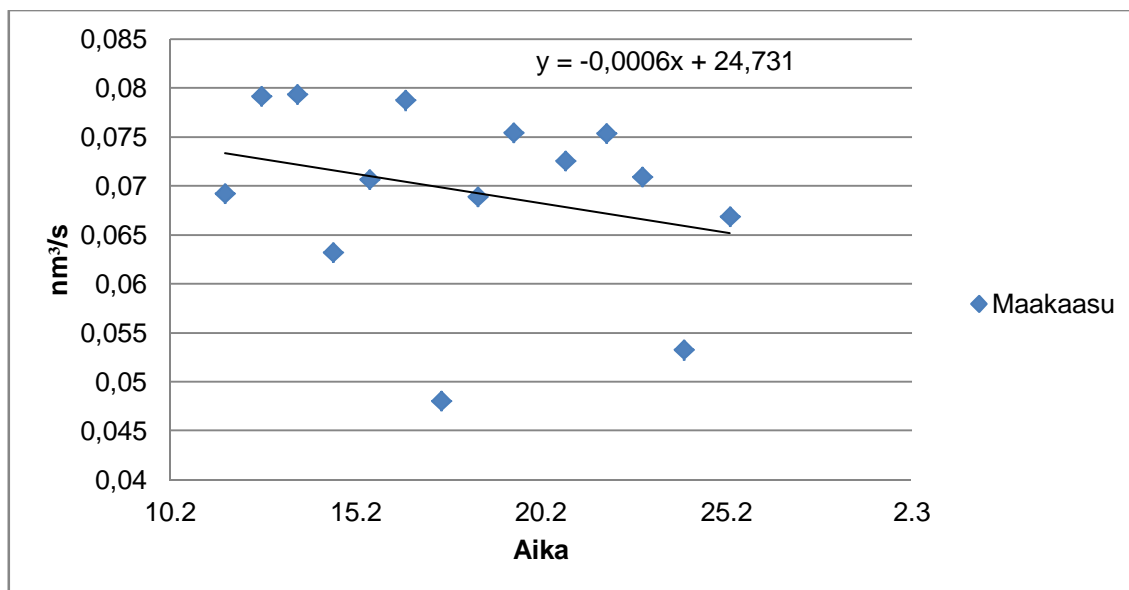
5.2 Poistokaasumäärän muutos

Toinen toteutuskelpoinen idea, jolla maakaasun käyttöä voitaisiin pienentää, oli vähentää jälkipolttimelle johdettavan poistokaasun määrää. Tämä tutkimus pystyttiin myös konkreettisesti toteuttamaan aiheuttamatta haittaa tuotannolle. Poistokaasumäärän muuttaminen hoitui helposti ohjausjärjestelmän avulla, jolloin alipaineen vähentäminen pienentää poistokaasupuhaltimen kierroslukua. Poistokaasun määrän vähentäminen ei lisää tuotantoa.

5.2.1 Ensimmäinen alipaineen pudotus 0,6 kPa:iin

Tutkimuksen alussa poistokanavassa oleva alipaine oli 0,7 kPa, jolloin polttimelle menevä ilmamäärä oli noin $20300 \text{ nm}^3/\text{h}$. Muutosta maakaasun käyttöön alettiin tutkia pudottamalla ensin alipaine 0,6 kPa:iin (18.2.2013), jolloin ilmamäärä putosi arvoon $18500 \text{ nm}^3/\text{h}$. Nyt poistoilma ei päässyt jäähdyttämään jälkipoltinta niin paljon kuin aikaisemmin, joten maakaasun tarvekin pieneni.

Asettamalla kombivoimalaitokselta saadut tiedot maakaasunkulutuksesta Excel- taulukkoon voidaan tarkastella kulutuksen kehitystä. Kuvassa 8 on esitetty maakaasunkulutus aikavälillä 11.2.2013 - 25.2.2013. Viikolla 7 eli 11.2.2013 - 17.2.2013 poistokaasukanavan alipaine oli 0,7 kPa. Viikolle 8 eli 18.2.2013 - 24.2.2013 alipaine laskettiin 0,6 kPa:iin. Koska pisteiden kautta kulkevan suoran kulmakerroin on negatiivinen, maakaasunkulutus on laskeva. Kuvassa on kaksi hieman poikkeavaa pistettä, 17.2. ja 24.2. Nämä selittyvät sunnuntaiseisakilla, jolloin tuotantoa ei ole.



Kuva 8. Poistokaasujen vähentämisen vaikutus maakaasunkulutukseen

Laskemalla keskiarvot molempien viikkojen kulutuksista saatiin prosentuaalinen lasku maakaasunkulutuksessa. Taulukossa 6 on esitetty kulutuksen keskiarvo alipaineen ollessa 0,7 kPa ja taulukossa 7 on esitetty kulutuksen keskiarvo alipaineen ollessa 0,6 kPa.

Taulukko 6. Maakaasunkulutuksen keskiarvo 11.2. - 17.2. poistokaasukanavan alipaineen ollessa 0,7 kPa

Keskiarvo (11.2. - 17.2.)
nm³/s
0,073489

Taulukko 7. Maakaasunkulutuksen keskiarvo 18.2. - 25.2. poistokaasukanavan alipaineen ollessa 0,6 kPa

Keskiarvo (18.2. - 25.2.)
nm³/s
0,066059

$$Lasku - \% = \frac{0,073489 \frac{nm^3}{s} - 0,066059 \frac{nm^3}{s}}{0,073489 \frac{nm^3}{s}} * 100 = 10,1107 \%$$

Tuloksena 0,1 kPa:n pudotus poistokaasukanavan alipaineessa säästää 10,1 % maakaasua.

5.2.2 Toinen alipaineen pudotus 0,5 kPa:iin

Seuraavaksi alipaine laskettiin 26.2.2013 0,55 kPa:iin ja myöhemmin samana päivänä 0,5 kPa:iin. Näin pieni alipaine oli mahdollista sillä molemmissa impregnointikoneissa oli kalvoajo, joka ei vaadi niin paljon lämmitystehoa leijukuivaimessa kuin runkoajo. Nyt polttimelle menevä ilmamäärä oli pudonnut jo $16900 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Kalvot pysyivät silti laadun rajoissa.

Laskemalla keskiarvot maakaasun kulutuksesta saatiin prosentuaalinen lasku maakaasunkulutuksessa. Taulukossa 8 on esitetty kulutuksen keskiarvo alipaineen ollessa 0,7 kPa ja taulukossa 9 on esitetty kulutuksen keskiarvo alipaineen ollessa 0,5 kPa.

Taulukko 8. Maakaasunkulutuksen keskiarvo 11.2. - 17.2. poistokaasukanavan alipaineen ollessa 0,7 kPa

Keskiarvo (11.2. - 17.2.)
nm^3/s
0,073489

Taulukko 9. Maakaasunkulutuksen keskiarvo 25.2. - 3.3. poistokaasukanavan alipaineen ollessa 0,5 kPa

Keskiarvo (25.2. - 3.3.)
nm^3/s
0,070034

$$Lasku - \% = \frac{0,073489 \frac{\text{nm}^3}{\text{s}} - 0,070034 \frac{\text{nm}^3}{\text{s}}}{0,073489 \frac{\text{nm}^3}{\text{s}}} * 100 = 4,701068 \%$$

Tuloksen mukaan maakaasua ei säästynyt niin paljon, kuin ensimmäisessä mittauksessa, vaikka alipaineen muutos oli suurempi. Tulosten mukaan alipaineen optimaalisin arvo olisi 0,6 kPa. Mittaustuloksiin vaikuttaa myös ratakatkojen ja laadunvaihtojen määrä, mikä aiheuttaa mittausepä tarkkuutta.

5.2.3 Kolmas alipaineen pudotus 0,45 kPa:iin

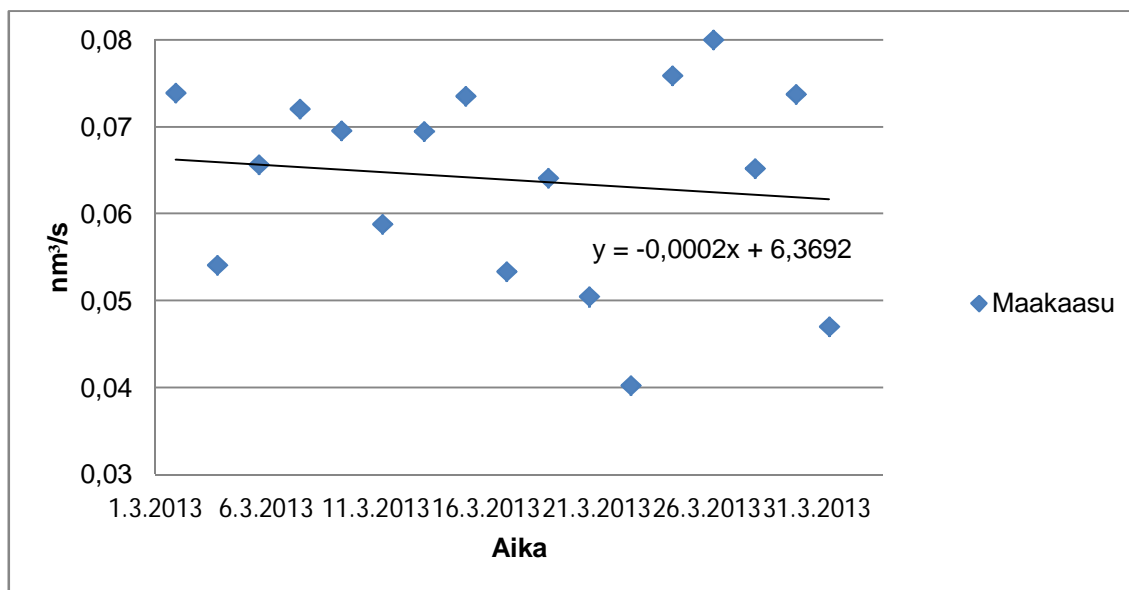
1.3.2013 alipaine laskettiin 0,45 kPa:iin, tämä kuitenkin aiheutti laatupoikkeamia. Reaaliajassa impregnaatin laatuaroja havainnoiva Scienta-mittapalkki osoitti haihtuva-arvon laskevan liian alas heti kun muutos oli tehty, impregnaatti oli siis liian kuivaa. Häätätoimenpiteenä ajonopeutta nostettiin nopeasti 92:sta 98:aan m/min, jotta laatuun päästäisiin uudelleen. Samasta tuoterullasta otettiin myös käsin näytepala, jonka mittaukset osoittivat taas impregnaatin olevan liian märkää, haihtuva-arvo oli siis liian korkea. Mahdollisia syitä automaattimittauksen ja käsin mittauksen ristiriitaan löydettiin kaksi. Mittapalkki on saattanut näyttää väärin, sillä sen kanssa on ollut ennenkin ongelmia. Toinen teoria oli ilmatasapainon horjuminen leijukuivaimessa. Hetkellisesti lämpötila leijukuivaimessa nousi, koska alipaine pieneni, eivätkä ilmaventtiilit ehtineet reagoida muutokseen. Tilanteen olisi voinut antaa tasoittua, tuotannon kustannuksella tietenkin. Riskiä ei kuitenkaan tahdottu ottaa ja alipaine nostettiin takaisin 0,5 kPa:iin.

5.2.4 Maaliskuun 2013 maakaasunkulutus

Tehtaalla ajettiin kalvoajoja koko maaliskuun ajan käyttämällä poistokaasukanavassa alipainetta 0,5 kPa. Ainoastaan silloin, kun IK3:lla oli menossa runkoajo, alipainetta jouduttiin nostamaan 0,6 tai 0,7 kPa:iin. Operaattoreille annettiin ohjeistus muuttaa alipainetta ajojen mukaan.

Kuvasta 9 huomataan, että pisteille piirretyn suoran kulmakerroin on negatiivinen eli maakaasun kulutus on laskeva. Aikajaksolla 21.3. - 23.3. kulutus on todella pientä, mutta se selittyy työntekijöiden lakolla, jolla

protestoitiin yrityksessä käytyjen YT-neuvotteluiden päätöstä vähentää 45 työpaikkaa. Tämä vaikuttaa osaltaan myös kokonaistuloksiin siten, että kokonaiskulutus on laskeva. Kuvassa näkyy syklistä vaihtelua, joka kasvaa loppua kohti. Korkeat kulutukset selittyvät lakon jälkeisellä jälkipolttimen lämmityksellä ja paljon lämpöä tarvitsevalla tuotannolla. Viimeinen matala kulutus piste selittyy sunnuntai-seisakilla.



Kuva 9. Maaliskuun 2013 maakaasun kulutus impregnointitehtaalla

Taulukossa 10 on esitetty koko maaliskuun aikainen keskiarvo maakaasun kulutukselle.

Taulukko 10. Koko maaliskuun maakaasunkulutuksen keskiarvo

Koko maaliskuun keskiarvo
nm³/s
0,064461746

Vertailukohtana taulukossa 11 on esitetty tammikuun maakaasun kulutus, poistokaasukanavan alipaineen ollessa kokoajan 0,7 kPa.

Taulukko 11. Koko tammikuun maakaasun kulutuksen keskiarvo

Koko tammikuun keskiarvo
nm ³ /s
0,083671835

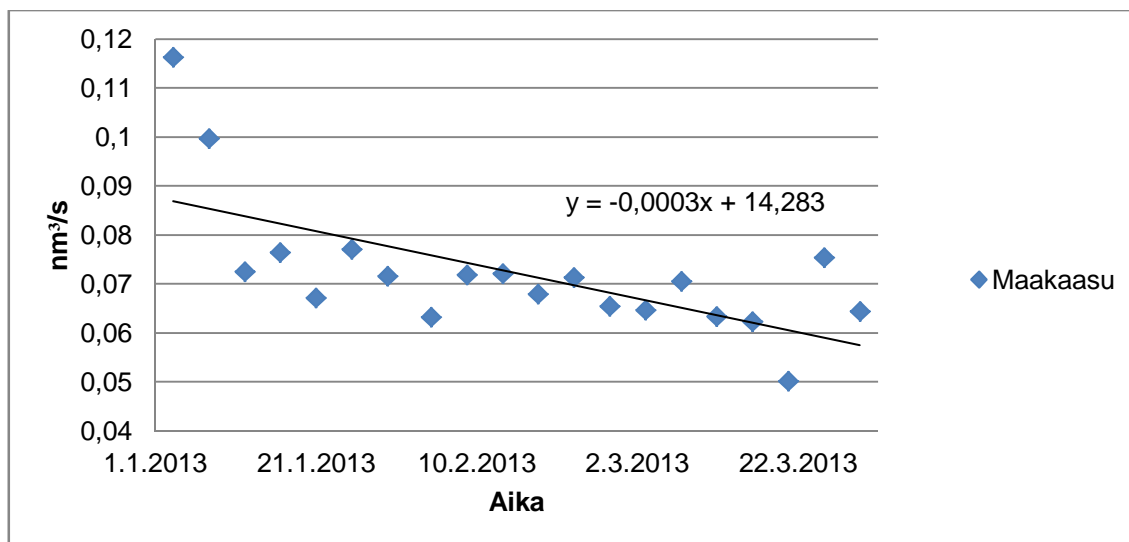
Tammikuun ja maaliskuun prosentuaalinen ero on:

$$Lasku - \% = \frac{0,083671835 \frac{nm^3}{s} - 0,064461746 \frac{nm^3}{s}}{0,083671835 \frac{nm^3}{s}} * 100 = 22,9588\%$$

Maaliskuun maakaasunkulutus oli siis lähes 23 % pienempi kuin saman vuoden tammikuun. Pudotus kulutuksessa on todella merkittävä. Tammikuun alussa maakaasunkulutus oli todella suurta, reilusti yli keskiarvon. Tämä johtuu ajossa olleesta todella leveästä ja paljon kuivatuslämpöä tarvitsevasta tuotteesta.

5.2.5 Tammi - maaliskuun maakaasunkulutus

Asettamalla vielä tammi - maaliskuun välisen ajan maakaasunkulutus Excel-kuvaajaan saadaan hyvä kokonaiskuva kulutuksen muutoksesta. Kuvasta 10 huomataan, että pisteille piirretyn suoran kulmakerroin on negatiivinen eli maakaasunkulutus on laskeva. Poistokaasukanavan alipaineen säätely on otettu käyttöön 18.2.2013, ja siitä lähtien kulutus on ollut pienempi. Kuva 10 antaa hyvän kokonaiskuvan maakaasunkulutuksen muutoksesta, joka on vähenevä. Poistokaasukanavaan tehdyillä alipaineen pudotuksilla on siis ollut positiivinen vaikutus.



Kuva 10. Tammikuun ja maaliskuun välisen ajan maakaasunkulutus

5.2.6 Alipaineen laskun vaikutuksia

Eniten päänvaivaa toi se, kuinka poistokaasumäärän muutos vaikuttaisi tuotteen laatuun. Laadussa ei kuitenkaan havaittu muutoksia, lukuun ottamatta viimeistä alipaineen pudotusta, jolloin mentiin liian alas. Myös joitakin etuja huomattiin. Esimerkiksi impregnointikone 4:sen leijukuivaimen kyljissä olevat huoltoluukut aukesivat helpommin, koska kuivaimen alipaine oli pienempi. Paperiradan lepatus väheni myös leijukuivaimessa, sillä ilmatasapaino pysyi stabiilimpana.

6 Parannusehdotuksia

Seuraavassa on esitetty joitakin rakenteellisia muutoksia, joilla impregnointitehtaan energiatehokkuutta voitaisiin parantaa.

6.1 Ajonopeuden muutos

6.1.1 Jäähdytysosan irrottaminen leijukuivaimesta

Jäähdytysosan sulamista voisi ehkäistä asentamalla säädettävän puhaltimen jäähdytysputkeen. Puhaltimella voisi jatkuvasti pitää pienen ylipaineen jäähdytysosassa, eikä lämmin kuivausilma pääsisi sulattamaan jäähdytysosaa. Jäähdytysosan pystyy myös irrottamaan leijukuivaimesta, siten että väliin jäisi pieni ilmarako. Malesian IK5-impregnointilinjalla jäähdytys on toteutettu juuri näin.

6.1.2 Lisäaineet

Hartsin imeytymisen parantamiseksi on saatavilla hartsiin sekoitettavia lisäaineita. Niitä käyttämällä voitaisiin nostaa ajonopeutta ja silti pitää paperi hyvässä laadussa. Lisäaineet parantavat hartsin kykyä läpäistä paperia, varmistavat hartsin tasaisen levittymisen paperiin ja vähentävät hartsin vaahtoutumista.

Tuotteen kiinnirullauksessa mahdolliset hartsipisarot räjähtävät leijukuivaimessa ja pöllyttävät hartsipölyä pakkauspäähän. Pakkaaja saattaa tietämättään hengittää haitallista hartsipölyä. Pisaroinnin ehkäisemiseen löytyy myös lisäaine, joka lisättynä hartsiin tuhoaa hartsipisarot paperin pinnasta ennen kuin ne ehtivät kovettua. [14, s. 3, 8, 13 - 15, 17, 18, 20]

Tehtaalle tulevissa hartseissa on yleensä noin puolet vettä tai metanolia. Voisikin miettiä, tarvitsevatko kaikki hartsilaadut niin paljon laimennusta vai

voisiko niiden kuiva-ainepitoisuuksia nostaa. Kuiva-ainepitoisuuksien ollessa korkeampi tarvittaisiin vähemmän kuivatusta, jolloin ajonopeutta pystyttäisiin nostamaan. Hartsintoimittajalta voisi ostaa paksumpaa hartsia ja laimentaa tarvittaessa tehtaalla.

6.2 Poistokaasumäärän muutos

6.2.1 Poistokaasuventtiilien hälytys- ja pysäytysrajat

Kesäisin on tilanne, jolloin ainakin toinen impregnointikoneista on seisakissa. Tällä hetkellä jälkipolttimen pysäytysraja poistokaasuventtiileille on 48 %. Pysäytysrajan takia myös seisakissa olevasta koneesta kierrätetään paljon puhdasta kylmää ilmaa jälkipolttimelle aivan turhaan. Puhdas ilma turhaan jäähdyttää polttokammiota, jolloin maakaasun määrää joudutaan lisäämään. Poistokaasuventtiileiden pysäytysrajoja kannattaisi muuttaa siten, että olisi mahdollista sulkea ainakin toisen impregnointikoneen poistokaasuventtiili kokonaan tarvittaessa ilman että jälkipoltin sammuu. Pysäytysrajan muutos edellyttäisi sen, että impregnointikoneisiin tulisi asettaa lukitus, mikä estäisi koneita käynnistymästä, ellei poistokaasuventtiili ole esimerkiksi 48 % auki.

6.2.2 Termoöljykierron ohitusventtiili

Termoöljykierrossa on ohitusventtiili, jonka avulla on mahdollista kierrättää termoöljy kokonaan ohi impregnointikoneiden kuivausilman lämmönvaihtimien. Ohitusventtiili on aina auki, välillä enemmän ja välillä vähemmän. Ohitusventtiiliin voisi sulkea kokonaan ja asettaa ennen ohitusventtiiliä olevan ”piiskapumpun” paineeksi esimerkiksi 5 bar. Täten virtaus pysyisin turbulenttisena ja enemmän kuumaa termoöljyä menisi impregnointikoneiden kuivausilman lämmönvaihtimiin ja leijukuivaimen lämpötila saataisiin helpommin tavoiteltuun arvoon. Ohitusventtiiliin voisi asettaa rajan, jolloin se avautuu, jos paine termoöljykierrossa nousee liian korkeaksi, esimerkiksi 5,5 bar.

6.2.3 Termooöljykierron pumppujen sijoittelu

Tällä hetkellä termooöljykierrosta on yhteensä kolme pumppua. Kaksi pumppua pumppaa öljyä savukaasulämmönvaihtimelle, näistä ainoastaan toinen on päällä ja toinen varalla. Kolmas pumppu on ns. piiskapumppu, joka pumppaa öljyä yksin molemmille impregnointikoneille. Ratakatkon sattuessa koneella sen öljyventtiilit menevät täysin kiinni. Tämä aiheuttaa sen, että toiselle koneelle menee hetkellisesti liikaa termooöljyä, koska piiskapumppu luulee edelleen pumppaavansa sitä molemmille koneille. Liika termooöljy nostaa leijukuivaimen lämpötilaa hetkellisesti liian korkealle, jolloin on vaarana paperin liiallinen kuivuminen leijukuivaimessa ja mahdollisesti sen katkeaminen.

Molemmille impregnointikoneille voisi asentaa oman termooöljypumpun, joka ratakatkon sattuessa pysähtyisi. Tällöin ei toisen koneen ratakatko vaikuttaisi toisen koneen leijukuivaimen lämpötiloihin ollenkaan.

6.2.4 Vaihtoehtoja lämmitysveden lämmittämiseen

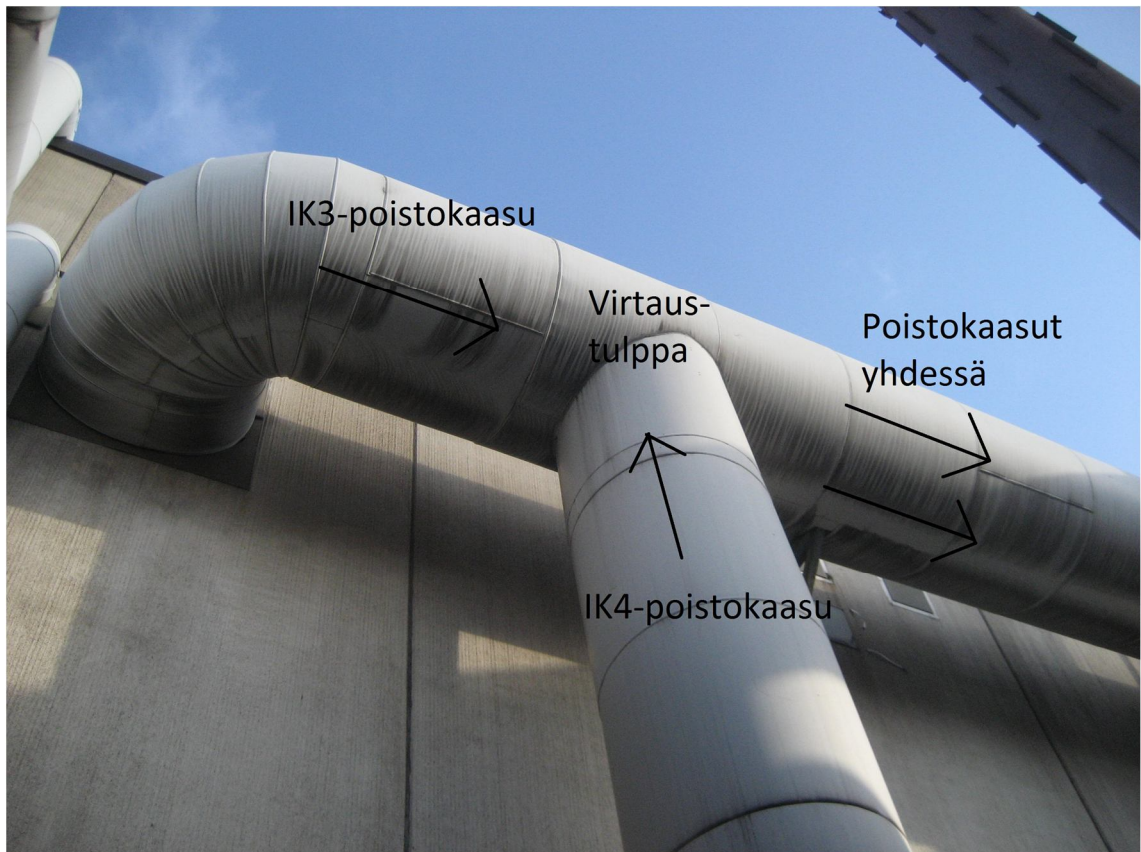
Termooöljyn kierron loppuun asennettaisiin lämmönvaihdin, jolla lämmitettäisiin lämmitysvedtä tarvittaessa. Varsinkin sunnuntaisin ja tehtaan ollessa seisakissa termooöljyä lämmitetään ns. turhaan. Jälkipoltinta on pidettävä päällä seisakkiaikanakin, jotta lämmitysvesi pysyy lämpöisenä. Vaikka polttimelta tulevat savukaasut ohjataankin termooöljylämmönvaihtimen ohi, venttiilit päästävät lämpöenergiaa läpi lämmittämään termooöljyä. Tämän avulla kalliin höyryn ostamisen tarpeesta voitaisiin luopua kokonaan, höyryputket kannattaisi kuitenkin pitää paikallaan hätätilanteiden vuoksi. Seisakkien aikana jälkipolttimen lämpötilaa voitaisiin myös pudottaa reilustikin, sillä lämmitysvesi saisi riittävästi lämpötehoa savukaasulämmönvaihtimesta ja termooöljylämmönvaihtimesta. Luonnollisesti pienempi lämpötila jälkipolttimessa tarkoittaa myös pienempää maakaasun tarvetta.

Yksi vaihtoehto tehtaan lämmitysveden pitämiseksi tarpeeksi lämpöisenä silloin kun tehdas on seisakissa, voisi olla automatiikka, joka seuraa lämmitysveden

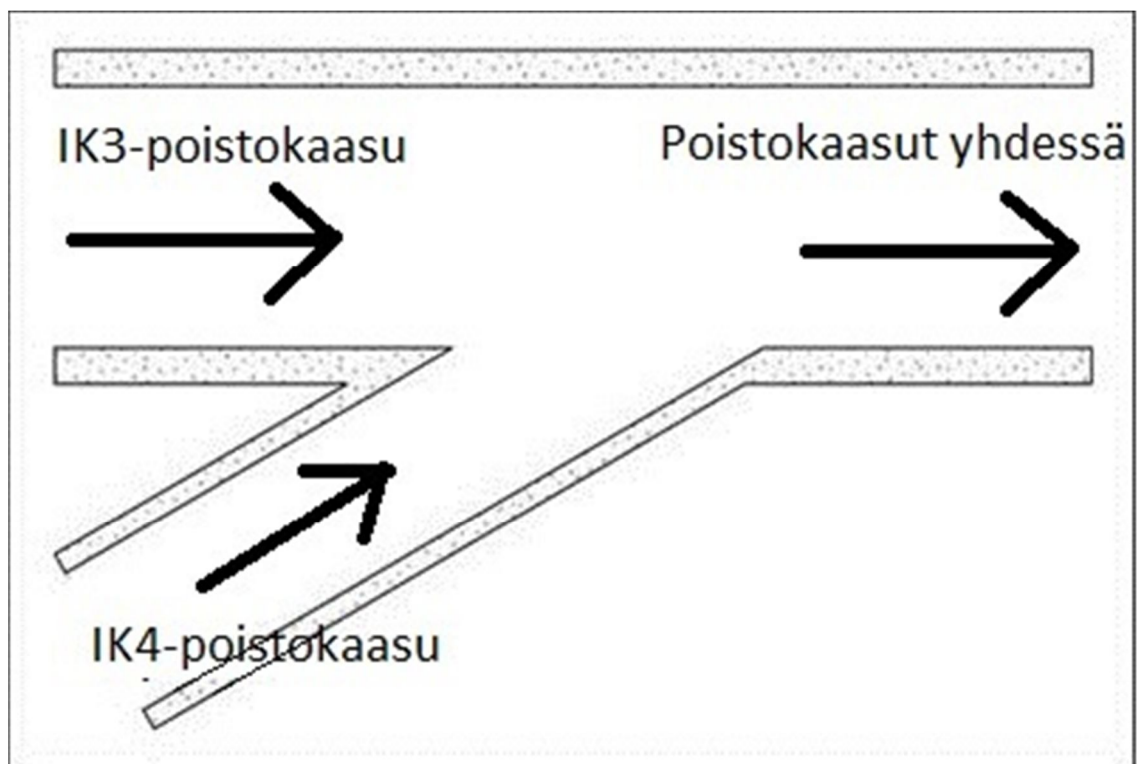
lämpötilaa ja säätää jälkipolttimen lämpötilaa tilanteen niin vaatiessa. Lämmitysveden jäähtyessä liikaa, automatiikka avaisi maakaasuventtiiliä päästäen polttimelle enemmän polttoainetta. Näin lämmitysvesi pysyisi jatkuvasti tavoitelämpötilassa ja maakaasunkulutus optimissa.

6.2.5 Poistokaasuputkien liitos

Tutkimuksen aikana ilmeni, että kohdassa, jossa molempien impregnointikoneiden omat poistokaasuputket yhdistetään yhdeksi poistokaasukanavaksi, on epätaloudellinen liitos. Kuvasta 11 huomataan, kuinka IK4-poistoilmaputki on liitetty IK3-poistoilmaputkeen 90 asteen kulmassa. Tämänkaltainen liitos aiheuttaa liitoskohdassa virtaustulpan, jolloin puhaltimen täytyy pyöriä kovemmilla kierroksilla ns. turhaan. Taloudellisempi vaihtoehto olisi johtaa IK4-poistoilmaputki virtauksen suuntaiseksi, jolloin virtausten välinen kitka pienenesi huomattavasti eikä mitään tulppaa pääsisi syntymään. Virtauksen suuntainen liitos on esitetty kuvassa 12.



Kuva 11. Poistoilmaputkien nykyinen liitoskohta



Kuva 12. Taloudellisesti parempi poistoilmojen liitoskohta

6.2.6 Lämmönsiirtimen pesu

Termoöljylämmönvaihtimen hyötysuhdetta ja parasta lämmönjohtokykyä paranneltiin pesemällä se sunnuntai-seisakissa 24.2.2013. Jälkipoltin oli sammutettava, jotta lämmönvaihtimen sisään päästiin pesemään sitä. Tarvittavat mittaukset ilman laadusta lämmönvaihtimen sisällä tuli suorittamaan palokunta, ennen kuin sinne voitiin astua sisään. Kuvassa 13 on esitetty savukaasu-termoöljylämmönsiirtimen lämmönsiirtoputkia. Myös termoöljykierron toisessa päässä eli leijukuivaimen kuivausilman lämmönvaihtimien puhtaus on tärkeää, jotta termoöljyn lämpöenergiasta saadaan paras mahdollinen irti. Niitäkin huolletaan säännöllisin väliajoin.



Kuva 13. Termoöljylämmönvaihtimen lämmönsiirtoputkia

Savukaasu-termoöljylämmönsiirtoputket pestiin pelkällä vedellä painepesurin avulla. Kävi kuitenkin ilmi, että siirtimet eivät olleet kovin likaiset. Muutamien asteiden parannus termoöljyn lämpötilassa kuitenkin tapahtui, mikä oli positiivista.

7 Valaisimien vaihto impregnointitehtaalle

Kotkan impregnointitehtaalla tehdashallin valaisuun käytetään loisteputkia ja halogeenilamppuja. Nämä voisi kuitenkin korvata energiaa säästävillä LED-valonheittimillä. LED-valonheittimiä ei myöskään tarvitsisi olla niin paljon kuin halogeenilamppuja tai loisteputkia. Tällä hetkellä impregnointitehtaan tehdashallissa on 107 halogeenilamppua ja 378 loisteputkea, joista osa on jo palanut tai hajonnut. Kuvassa 14 on esitetty tehtaan tämänhetkisiä loisteputkivalaisimia. Katossa on myös yksi LED-valonheitin jo testikäytössä.



Kuva 14. Paperisalin katossa olevia loisteputkia, joista osa on jo palanut

Tehdas kierrettiin läpi ja sovittiin yhdessä tehtaan käyttöinsinöörin kanssa, että tällä hetkellä katossa olevat valaisimet olisivat järkevästi korvattavissa 143 LED-valonheittimellä. Korvaukset tehtäisiin siten, että:

- tuotevarastossa olevat 48 loisteputkea korvattaisiin 8 LED-valonheittimellä
- raakapaperirullavarastossa olevat 64 halogeenilamppua korvattaisiin 48 LED-valonheittimellä
- paperisalissa olevat 43 halogeenilamppua ja 330 loisteputkea korvattaisiin yhteensä 87 LED-valonheittimellä.

Näistä lukumääristä pystyi helposti laskemaan vuodessa tulevan säästön, mikäli kaikki valaisimet vaihdettaisiin LED-valonheittäjiin, sillä lamppujen tehot olivat tiedossa.

LED-valaisimeksi valikoitui Polar Bear LED 200W Pro –valonheitin, joka on suunniteltu kestäämään ja valaisemaan ulkorakennuksia, museoita, teattereita, ym. julkisia rakennuksia. Kuvassa 15 on kyseinen LED-valonheitin. Valonheittimen tärkeimmät tekniset tiedot ovat [16]:

- käyttöikä 50 000 h
- 120 asteen valokeila
- 90~100 lumen/W
- käyttölämpötila -45 °C - +65 °C
- hinta 598,00 €



Kuva 15. Polar Bear LED 200W Pro –valonheitin

7.1 Rahallisen säästön laskelma

Taulukossa 12 on esitetty tehtaalla tällä hetkellä olevien loisteputkivalaisimien ja halogeenilamppujen sekä niiden tilalle kaavailtujen LED-valonheittimien nimellistehot ja määrät.

Taulukko 12. Valaisimien nimellistehot ja määrä

	Loisteputki	Halogeeni	LED
Nimellisteho [W]	58	450	200
Määrä	378	107	143

Taulukon 12 tiedoilla voitiin laskea nykyisten sekä kaavailtujen valaisimien yhdistetyt kulutukset, jotka näkyvät taulukoissa 13 ja 14.

Taulukko 13. Nykyisten valaisimien yhdistetty kulutus

Halogeenien teho [W]	Loisteputkien teho [W]	Yhteensä [W]
48150	21924	70074

Taulukko 14. LED-valonheittimien kulutus

LEDit kuluttaisivat [W]
28600

Tällöin säästö nimellistehoissa olisi: $70074 \text{ W} - 28600 \text{ W} = 41474 \text{ W}$

ja säästö vuosikulutuksessa: $\frac{41474 \text{ W}}{1000000} * 24 * 365 = 363,31 \text{ MWh}$

Valaisimet ovat tehtaalla päällä lähes koko ajan, joten vuosikulutuksessa voidaan olettaa, että ne ovat päällä koko ajan. Päivän sähköhinnalla (4.4.2013) 50,11 €/MWh laskettuna säästö olisi vuodessa [17]:

$$\text{Säästö vuodessa} = 363,31 \text{ MWh} * 50,11 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 18205,58 \text{ €}$$

Vuodessa tulisi rahallista säästöä siis lähes 20 000 €, riippuen sähkön hinnasta. Pelkästään valaisimien vaihdolla tämä kuulostaa hyvältä säästöltä.

7.2 Takaisinmaksuaikalaskelma

143 LED-valonheittimien investointikustannukset olisivat:

$$\text{Investointikustannukset} = 143 * 598,00 \text{ €} = 85514 \text{ €}$$

Tällöin LED-valonheittimien takaisinmaksuaika vuosina olisi:

$$\text{Takaisinmaksuaika} = \frac{\text{Investointikustannukset}}{\text{Säästö vuodessa}} = \frac{85514 \text{ €}}{18205,58 \text{ €}} \approx 4,70 \text{ vuotta}$$

LED-valaisimen käyttöikä vuosina:

$$\text{Käyttöikä vuosina} = \frac{50\,000\,h}{8760\,h} \approx 5,71\,vuotta$$

LED-valonheittimet palaisivat siis noin vuoden verran ”ilmaiseksi” verrattuna tähän hetkeen. 143 LED-valonheittimen ryhmätilauksessa todennäköisesti saisi jonkin verran yhden valonheittimen hinnasta pois. Esimerkiksi jos yhden LED-valonheittimen hinnaksi tulisi vain 500 €, niin takaisinmaksuaikakin vähenisi 3,93 vuoteen, eli lähes vuodella. On toki mahdollista, että LED-valonheittimet kestävät kauemmin kuin 50 000 tuntia, mutta on myös yhtä mahdollista, että ne palavat aikaisemmin.

8 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli etsiä keinoja, joilla voitaisiin parantaa Kotkan impregnointitehtaan energiatehokkuutta. Energiatehokkuutta päädyttiin kohentamaan pureutumalla erityisesti maakaasun ja sähkön kulutukseen. Maakaasunkulutusta pyrittiin vähentämään muuttamalla impregnointituotteiden tuotannon asetusarvoja sekä pohtimalla konkreettisia rakenteellisia muutoksia. Sähkönkulutusta pyrittiin vähentämään miettimällä tehtaassa käytettävää valaistusta uudelleen.

Työssä onnistuttiin hyvin ja saadut tulokset ovat positiivisia. Poistokaasukanavan alipaineen säätely tuotannossa sillä hetkellä olevan tuotteen mukaan onkin jo otettu tehtaalla käyttöön. Tämän muutoksen avulla maakaasunkulutusta on onnistuttu pienentämään. Uudesta lämmönvaihtimesta, jolla lämmitettäisiin tehtaan käyttövetä termoöljyn lämpöenergialla seisakkiaikana, on tehty tarjouspyyntö. Uusi lämmönvaihdin sijoitettaisiin toisen höyry-vesi-lämmönvaihtimen tilalle. Poistokaasukanavien lukitus- ja pysäytysrajojen muutoksesta on tehty korjauspyyntö tehtaan sisäiseen kunnossapitolistaan. Myös tehtaalle jo tilatut muutamat LED-valonheittimet aiotaan ottaa käyttöön.

Työn aikana opin paljon paperiteollisuudessa käytettävästä energiankulutuksesta, sen rakenteesta sekä merkityksestä. Opin myös paljon uutta alkuun monimutkaiselta kuulostavasta paperin impregnointiprosessista. Metsäteollisuus on Suomessa suurin energiankuluttaja, joten kaikki säästö energiankulutuksessa on tervetullutta, etenkin alati kasvavien polttoainekustannusten vuoksi. Olin motivoitunut kantamaan oman korteni energiatehokkuuden optimoinnin kekoon Kotkan impregnointitehtaalla. Oli positiivista huomata, kuinka pienilläkin muutoksilla ja energiatehokkuuden optimointiin paneutumisella voidaan saada vuosikulutustasolla merkittäviä säästöjä aikaan.

Lähteet

- 1 Kotkamills Oy Products. Verkkodokumentti.
<http://www.kotkamills.com/fi/products>. Luettu 18.2.2013.
- 2 Kotkamills Oy sisäinen verkkopalvelu. Tuotteet. Verkkodokumentti.
<http://intra.kotkamills.com/myynti/tcs-ja-tuotteet/tuotteet/Sivut/default.aspx>.
Luettu 18.2.2013
- 3 Mäkelä, Johanna. Uusi jäsen esittäytyy: Kotkamills Oy. Kaasuviesti 1/2013
- 4 Energiamarkkinaviraston maakaasumarkkinat. Verkkodokumentti.
<http://www.energiamarkkinavirasto.fi/data.asp?articleid=3365&pgid=188&languageid=246>. Luettu 29.3.2013.
- 5 Kaulio Vesa. Prosessikuvaus. Imprex-valmistus. Käyttöohje.
- 6 Knaapi Veli-Matti. Työohje. Tuotenäytteiden otto ja laadun varmistaminen.
Käyttöohje.
- 7 Laboratoriotyöntekijä Erkki Raution haastattelu 22.2.2013, materiaali tekijän hallussa. Kotkamills Oy.
- 8 Käyttöinsinööri Veli-Matti Knaapin haastattelut ja havainnot 8.2.2013 - 12.4.2013, materiaali tekijän hallussa. Kotkamills Oy.
- 9 Oy Voitelukeskus Tonttila Ltd. Tuotetiedot CalfloTM AF.
- 10 Vakkari Ilkka. Käytön kuvaus. Jälkipoltin toimintakuvaus. Käyttöohje.
- 11 Operaattori Erkko Galejewin haastattelu 19.2.2013, materiaali tekijän hallussa. Kotkamills Oy.
- 12 Operaattori Kari Kotkan haastattelu 15.2.2013, materiaali tekijän hallussa Kotkamills Oy.

- 13 Prosessimies Evgeni Chachkovin haastattelu 15.2.2013, materiaali tekijän hallussa. Kotkamills Oy.
- 14 Evonik industries. Additives for Paper Impregnation. Verkkodokumentti. <http://www.polymer-dispersions.com/sites/dc/Downloadcenter/Evonik/Product/Polymer-Dispersions/additives-for-paper-impregnation.pdf>. Luettu 21.3.2013.
- 15 Kotkamills Oy Energiakatsaus. Talvi-kevät 2013. Sisäinen intranet.
- 16 LED-valonheittimien jälleenmyyjä. Verkkodokumentti. <http://www.ensi-ilta.com/eshop/categories/2601/>. Luettu 3.4.2013.
- 17 Sähkön päivittäishinta. Verkkodokumentti. <http://www.nordpoolspot.com/>. Luettu 4.4.2013
- 18 Imprex_Esitys_Suomi_KM_Jalostusvaliokunta –powerpoint. Kotkamills Oy. Sisäinen intranet.
- 19 Imprex_Esitys_Suomi_KM –powerpoint. Kotkamills Oy. Sisäinen intranet.

Terminen jälkipoltin



Tuubiputkia jälkipolttimen sisältä

